

RESISTENSI BAKTERI TERMOFILIK PASCA ERUPSI MERAPI TERHADAP LOGAM BERAT

Anna Rakhmawati dan Evy Yulianti

Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA UNY,

anna_rakhmawati@uny.ac.id, wannawijaya@yahoo.com, 081328076689

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengetahui resistensi bakteri termofilik pasca erupsi Merapi terhadap logam berat tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan timbal (Pb). Isolat bakteri yang digunakan bersumber dari pasir dan air Kali Gendol Atas pasca erupsi Merapi tahun 2010 yang diperoleh dengan metode *dilution*. Uji resistensi dilakukan menggunakan metode *streak* pada media Nutrient Agar (NA) *plate* mengandung Cu, Cd, dan Pb dengan berbagai konsentrasi, kemudian diinkubasi pada suhu 55 °C selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan 19 isolat mampu hidup sampai konsentrasi Cu 30 ppm. Isolat bakteri sebanyak 13 dapat tumbuh dengan konsentrasi maksimal 1 ppm Cd. Sembilan belas isolat bakteri mampu bertahan pada logam Pb dengan konsentrasi 300 ppm. Isolat *Thermomicrobium* sp D2 mampu tumbuh pada 50 ppm Cu; 1,5 ppm Cd; dan 300 ppm Pb.

Kata kunci: resistensi, bakteri termofilik, logam berat

PENDAHULUAN

Bahaya akibat kontaminasi logam berat di lingkungan merupakan isu menonjol dalam beberapa tahun terakhir. Tutut *et al.*, (2012: 2) menyatakan logam berat termasuk salah satu bahan pencemar yang bersifat toksik bagi makhluk hidup dan dapat mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan. Pencemaran oleh logam berat biasanya berasal dari buangan limbah berbagai macam industri seperti industri logam (*electroplating*), tekstil, baterai, pupuk, industri plastik (PVC), dan pertambangan.

Logam berat yang terdapat dalam limbah industri dan berdampak buruk bagi kesehatan misalnya tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan timbal (Pb). Hasil penelitian Soetarto, *et al.*, (2013: 3) menunjukkan cemaran logam berat Cu pada beberapa sungai besar di Yogyakarta seperti Sungai Code dan Sungai Gajahwong rata-rata memiliki tingkat cemaran melebihi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, yaitu lebih dari 0,02 mg/L. Sedangkan limbah industri kerajinan perak Kotagede mengandung kadar logam berat Cu 211,27 mg/L.

Kadmium (Cd) termasuk logam berat yang sangat berbahaya setelah merkuri (Hg) (Dirayah *et al.*, 2005: 25) Keberadaan logam kadmium (Cd) di lingkungan dapat mengganggu kehidupan organisme karena sifat toksik yang dimilikinya. Logam berat yang terakumulasi di dalam tanah dapat mempengaruhi aktivitas mikroba dan berisiko terhadap kesehatan manusia karena logam tersebut masuk ke dalam rantai makanan (Mohsenzadeh F & Shahrokhi F, 2014: 1).

Data Sumber Pencemar yang didapatkan dari Balai Lingkungan Hidup (BLH) tahun 2013 di Kabupaten Sleman, air limbah yang mengandung Pb dihasilkan dari industri

percepatan kemudian dialirkan ke Sungai Bening, Sungai Gajahwong, Sungai Bayem, Sungai Code, dan Sungai Winongo. Sedangkan air limbah lain yang mengandung Timbal dari industri kemasan plastik dialirkan ke Sungai Bedok dan Sungai Winongo, industri produsen gas O₂ ke Sungai Winongo, industri Kimia ke Sungai Bedog, industri gas Acetyn ke Sungai Progo, industri fertilizer ke Sungai Grojogan, dan industri LPG ke Sungai Bening. Limbah cemaran air sungai mengandung timbal pada tahun 2013 di Sungai Bedog pada bulan September sebesar 0,21 mg/L, Sungai Gajahwong sebesar 0,08 mg/L, Sungai Code sebesar 0,27 mg/L, dan Sungai Winongo 0,06 mg/L serta mengalami peningkatan kadar dari setahun sebelumnya dan melebihi standar baku mutu yaitu 0,02 mg/L (www.blh.go.id).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meminimalisir kadar logam di lingkungan baik secara fisik, kimiawi, ataupun biologis. Metode fisik dan kimiawi dianggap kurang efektif karena membutuhkan biaya mahal serta memerlukan bahan dan energi tidak sedikit. Saat ini, beberapa peneliti telah menerapkan alternatif pengelolaan limbah dengan metode biosorpsi yang melibatkan biomassa mikroorganisme untuk menyerap logam berat (Irma & Tri, 2007: 82). Penggunaan mikroorganisme sebagai biosorben memiliki beberapa kelebihan antara lain biaya relatif lebih murah, efisiensi tinggi, biosorben dapat diregenerasi, tidak memerlukan nutrisi tambahan, dan *sludge* (lumpur buangan) yang dihasilkan sangat minim (Awalina S & Sekar L, 2012: 564). Selain itu keberadaannya yang sangat melimpah memungkinkan biaya untuk pengelolaan limbah menjadi relatif lebih murah.

Mikroorganisme yang umum digunakan sebagai biosorben antara lain adalah bakteri, fungi, dan alga. Beberapa jenis bakteri diketahui mempunyai afinitas tinggi terhadap logam dan mampu mengakumulasi logam berat dan logam beracun dengan berbagai mekanisme (Agustien N, 2005: 3). Bakteri termasuk salah satu mikroorganisme yang mampu memanfaatkan ion logam berat dalam aktivitas metabolismenya. Pencarian mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai biosorben logam telah banyak dilakukan. Bakteri yang sering digunakan sebagai biosorben logam umumnya diisolasi dari lingkungan tercemar logam berat. Bakteri termofilik merupakan salah satu mikroorganisme yang mempunyai sifat unik sehingga menarik untuk dimanfaatkan. Bakteri termofilik mampu hidup pada lingkungan bersuhu tinggi dan tumbuh secara optimal di atas suhu 45 °C, dengan struktur protein penyusun enzim yang tetap stabil dan tidak terdenaturasi oleh suhu tinggi. Habitat bakteri termofilik dapat ditemukan di berbagai tempat ekstrim seperti sumber air panas, daerah vulkanik, daerah panas bumi, limbah pertambangan dan lain sebagainya.

Penelitian Anna Rakhmawati dan Evy Yulianti pada tahun 2011 berhasil mengisolasi bakteri termofilik dari Kali Gendol pasca erupsi Merapi tahun 2010. Hasil isolasi tersebut diperoleh 480 isolat yang mampu tumbuh pada suhu inkubasi 55 °C dan 253 isolat pada suhu inkubasi 70 °C. Menurut Suriadikarta *et al.*, (2010: 9) abu vulkanik gunung merapi mengandung beberapa jenis logam berat seperti Fe, Mn, Pb, dan Cd dalam kadar cukup rendah. Keberadaan logam berat dalam abu vulkanik tersebut memungkinkan bakteri termofilik dari Kali Gendol pasca erupsi Merapi mempunyai sifat toleran terhadap logam berat termasuk kadmium (Cd) dan timbal (Pb).

Bakteri termofilik memiliki potensi yang baik sebagai biosorben logam pada limbah industri yang umumnya bersifat panas, sebab bakteri ini memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi. Menurut Rudi dan Ikbali (2005: 169) air limbah yang baru keluar dari industri kebanyakan masih bersuhu cukup tinggi berkisar antara 70-80 °C. Suhu tinggi merupakan salah satu kendala di dalam suatu industri, karena air limbah yang panas harus

didinginkan terlebih dahulu sebelum diolah lebih lanjut. Sehingga hal tersebut menyebabkan pengolahan limbah membutuhkan waktu yang lebih lama.

Isolat bakteri termofilik pasca erupsi Merapi hasil penelitian Anna Rakhmawati dan Evy Yulianti tahun 2011 masih belum diketahui mengenai ketahanannya terhadap logam berat. Pada penelitian ini akan dilakukan uji untuk mengetahui resistensi bakteri termofilik terhadap logam tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) pada berbagai konsentrasi.

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut: 1) Isolat bakteri termofilik pasca erupsi Merapi mana yang resisten terhadap tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan timbal (Pb)? 2) Berapakah konsentrasi logam tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan timbal (Pb) maksimum isolat-isolat bakteri tersebut masih resisten? 3) Apakah ada isolat bakteri yang resisten pada ketiga jenis logam tembaga (Cu), kadmium (Cd), dan timbal (Pb).

METODE

Alat yang digunakan yaitu autoklaf (All American no.25 X), gelas beker (Pyrex), botol erlenmeyer (Pyrex), cawan petri (Pyrex), *colony counter* (Sibata type CI-560), gelas ukur (Pyrex), gelas piala (Pyrex), *Hot plate* (EYELA Magnetic Stirrer RCH-3), inkubator (EYELA SU-600N), jarum ose, kompor gas (Rinnai), Kulkas, kamera digital (Samsung), *Laminar Air flow* (LAF) merk Shimadzu tipe SBC – 1000 A, lampu bunsen, mikropipet (SOCOREX), oven (UCHIDA IST-150D), pH meter, tabung reaksi (Pyrex), timbangan analitik (AND HF0300), dan *waterbath* (EYELA NTS-1300).

Bahan yang digunakan adalah akuades, alkohol 70%, *Nutrient Agar* (Oxoid), HNO_3 , $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Merck), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Merck), dan $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Merck).

Metode penelitian

Pembuatan media NA-Cu, NA-Cd, dan NA-Pb

Media *Nutrient Agar* (NA) ditambah logam Cu, Cd, dan Pb dibuat dengan cara melarutkan 28 gram bubuk NA ke dalam 1.000 ml akuades, kemudian dipanaskan di atas *Hot plate* hingga mendidih. Setelah itu larutan stok Cu, Cd, dan Pb ditambahkan dalam media sesuai konsentrasi yang diinginkan menggunakan rumus pengenceran. Media disterilisasi dalam autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm. Media dituang ke dalam petridish (± 15 ml/petri) dan ditunggu hingga memadat.

Skrining bakteri

Isolat bakteri hasil peremajaan diseleksi berdasarkan kemampuannya tumbuh pada medium yang mengandung Cu, Cd, dan Pb. Uji resistensi dilakukan menggunakan metode *streak* pada media NA *plate* mengandung logam berat dengan konsentrasi Cu (0; 10; 20; 30; 50; 100 ppm); Cd (0; 1; 1,5; 2; 3; 5 ppm); dan Pb (50; 100; 200; 300 ppm) kemudian diinkubasi pada suhu 55°C selama 24 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

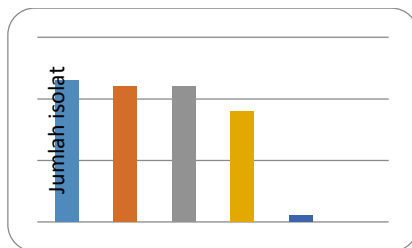
Hasil

Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteri termofilik pasca erupsi Merapi tahun 2010. Isolat yang dipilih merupakan bakteri dari sampel air dan pasir Kali Gendol Atas yang diisolasi dengan metode *dilution*. Isolat bakteri terpilih sebanyak 23 isolat (Tabel 1,2, dan 3) berdasarkan kemampuannya tumbuh pada suhu 50 °C dan 70 °C.

Tabel 1. Hasil seleksi isolat bakteri termofilik pasca erupsi Merapi pada media yang mengandung logam Cu

No	Isolat	Media Nutrient Agar (NA) + Konsentrasi Logam Cu (ppm)					
		0	10	20	30	50	100
1	D2	√	√	√	√	√	–
2	D3	√	√	√	√	–	–
3	D13	√	–	–	–	–	–
4	D14	√	√	√	√	–	–
5	D15	√	√	√	–	–	–
6	D16	√	√	√	√	–	–
7	D17	√	√	√	–	–	–
8	D19	√	√	√	–	–	–
9	D32	√	√	√	√	–	–
10	D55	√	√	√	√	–	–
11	D91	√	√	√	√	–	–
12	D92	√	√	√	√	–	–
13	D93	√	√	√	√	–	–
14	D94	√	√	√	√	–	–
15	D95	√	√	√	√	–	–
16	D113	√	√	√	√	–	–
17	D132	√	√	√	√	–	–
18	D134	√	√	√	√	–	–
19	D135	√	√	√	√	–	–
20	D138	√	√	√	–	–	–
21	D139	√	√	√	√	–	–
22	D140	√	√	√	√	–	–
23	D141	√	√	√	√	–	–
Jumlah isolat yang tumbuh		23	22	22	18	1	0
Keterangan : √ = tumbuh – = tidak tumbuh							

Tabel 1 menunjukkan konsentrasi logam Cu yang digunakan bervariasi dari 10 sampai dengan 100 ppm. Hasil seleksi menunjukkan kemampuan berbeda masing-masing isolat ketika ditumbuhkan pada berbagai konsentrasi Cu. Isolat D2 masih bisa tumbuh sampai 50 ppm sedangkan isolat D13 sudah tidak mampu tumbuh pada 10 ppm Cu.



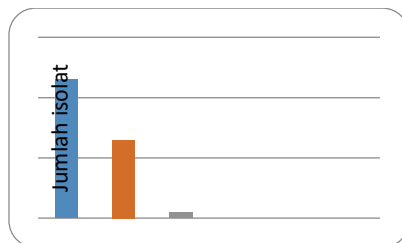
Gambar 1. Jumlah total isolat yang tumbuh pada berbagai konsentrasi Cu

Gambar 1 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Cu maka jumlah isolat yang mampu tumbuh semakin sedikit. Tidak ada isolat yang mampu tumbuh pada konsentrasi 100 ppm Cu.

Isolat bakteri termofilik yang mampu tumbuh pada media mengandung Cd pada konsentrasi maksimal 1,5 ppm. Isolat D2 mampu tumbuh sampai 1,5 ppm Cd. Sedangkan isolat D11, D16, D55, D91, D94, D134, D135, D138, D139, dan D141 tidak dapat tumbuh pada konsentrasi 1 ppm Cd (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil seleksi isolat bakteri termofilik pasca erupsi Merapi pada media yang mengandung logam Cd

No	Isolat	Media Nutrient Agar (NA) + Konsentrasi Logam Cd (ppm)					
		0	1	1,5	2	3	5
1	D2	√	√	√	-	-	-
2	D3	√	√	-	-	-	-
3	D11	√	-	-	-	-	-
4	D14	√	√	-	-	-	-
5	D15	√	√	-	-	-	-
6	D16	√	-	-	-	-	-
7	D17	√	√	-	-	-	-
8	D19	√	√	-	-	-	-
9	D32	√	√	-	-	-	-
10	D55	√	-	-	-	-	-
11	D91	√	-	-	-	-	-
12	D92	√	√	-	-	-	-
13	D93	√	√	-	-	-	-
14	D94	√	-	-	-	-	-
15	D95	√	√	-	-	-	-
16	D113	√	√	-	-	-	-
17	D132	√	√	-	-	-	-
18	D134	√	-	-	-	-	-
19	D135	√	-	-	-	-	-
20	D138	√	-	-	-	-	-
21	D139	√	-	-	-	-	-
22	D140	√	√	-	-	-	-
23	D141	√	-	-	-	-	-
Jumlah isolat yang tumbuh		23	13	1	0	0	0
Keterangan : √ = tumbuh, - = tidak tumbuh							



Gambar 2. Jumlah isolat yang tumbuh pada berbagai konsentrasi Cd

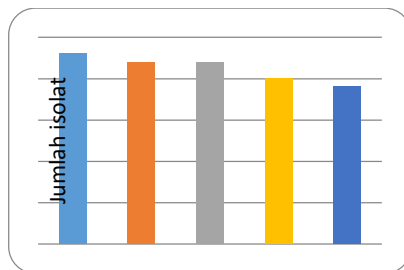
Jumlah isolat yang mampu tumbuh semakin berkurang seiring peningkatan konsentrasi Cd. Dari ke-23 isolat yang diuji hanya 13 isolat yang mampu tumbuh pada 1 ppm Cd dan satu isolat pada 1,5 ppm Cd (Gambar 2).

Tabel 3. Hasil seleksi isolat bakteri termofilik pasca erupsi Merapi pada media yang mengandung logam Pb

No	Isolat	Media Nutrient Agar (NA) + Konsentrasi Logam Pb (ppm)				
		0	50	100	200	300
1	D2	√	√	√	√	√
2	D3	√	√	√	√	√
3	D11	√	√	√	√	√
4	D14	√	√	√	√	√
5	D15	√	√	√	√	√
6	D16	√	√	√	√	√
7	D17	√	√	√	√	√
8	D19	√	√	√	√	√
9	D32	√	√	√	√	√
10	D55	√	√	√	√	√
11	D91	√	√	√	√	√
12	D92	√	√	√	√	√
13	D93	√	√	√	√	√
14	D94	√	√	√	√	√
15	D95	√	√	√	√	√
16	D113	√	√	√	√	√
17	D132	√	√	√	√	√
18	D134	√	√	√	–	–
19	D135	√	√	√	√	√
20	D138	√	–	–	–	–
21	D139	√	√	√	–	–
22	D140	√	√	√	√	–
23	D141	√	√	√	√	√
Jumlah isolat yang tumbuh		23	22	22	20	19
Keterangan : √ = tumbuh, – = tidak tumbuh						

Tabel 3 merupakan hasil uji pertumbuhan 23 isolat pada media yang mengandung Pb. Mayoritas isolat mampu tumbuh sampai konsentrasi 300 ppm, kecuali isolat D138. Isolat D134 dan D139 tidak mampu bertahan sampai 200 ppm, sedangkan isolat D140 tidak mampu tumbuh pada 300 ppm Pb.

Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah isolat yang mampu tumbuh pada konsentrasi 50, 100, 200, dan 300 ppm Pb masih banyak. Sembilan belas dari 23 mampu tumbuh sampai 300 ppm Pb.



Gambar 3. Jumlah isolat yang tumbuh pada berbagai konsentrasi Pb

Hasil uji resistensi menunjukkan isolat bakteri D2 mampu tumbuh pada konsentrasi Cu, Cd, dan Pb maksimal. Hasil identifikasi pada penelitian terdahulu oleh Lutfi Febri P (2012: 95) diketahui bahwa bakteri D2 menunjukkan karakter sebesar 83,33% mirip genus *Thermomicrobium*. Hasil ini didapatkan setelah dicocokkan dengan buku Bergey's Manual Determinative of Bacteriology.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan resistensi isolat bakteri berbeda-beda. Isolat bakteri ada yang mampu bertahan sampai konsentrasi Cu 30 ppm lebih tinggi dibandingkan penelitian Riesta P, *et al.* (2004) yaitu *Bacillus* sp dapat bertahan pada konsentrasi 10 ppm pada medium Nutrien Broth yang mengandung Cu. Sedangkan untuk Pb (300 ppm) dan Cd (1,5 ppm) lebih tinggi dibandingkan penelitian Agustien N. (2005: 31) menggunakan *Bacillus cereus* ATCC 11778 dan *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 mengakumulasi logam berat Cd pada medium pertumbuhan dengan konsentrasi mencapai 0,3 ppm. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Dirayah & Irna (2005: 27), menemukan isolat bakteri dari limbah cair PT kawasan industri Makassar resisten Pb dan Cd 1 ppm. Menurut Canstein (2002) dalam Enny *et al* (2012: 3) mengemukakan bahwa isolat yang mampu tumbuh pada media sintetis mengandung logam berat ≥ 5 ppm merupakan isolat yang memiliki resistensi tinggi terhadap logam berat.

Menurut Susilawati (2009: 29) kemampuan bakteri resisten terhadap logam berat pada media pertumbuhan disebabkan karena bakteri memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat melalui dua mekanisme yaitu mekanisme *active uptake* dan *passive uptake*. Bioakumulasi merupakan contoh mekanisme *active uptake*, yakni melibatkan metabolisme pada sel-sel hidup untuk pertumbuhan atau akumulasi intraseluler logam tersebut. Sedangkan contoh mekanisme *passive uptake* adalah biosorpsi, yaitu penyerapan logam yang terjadi karena interaksi ion logam dengan permukaan sel bakteri yang telah mati. Bakteri memiliki permukaan sel yang bermuatan negatif karena terbentuk dari berbagai struktur anion sedangkan logam berat adalah ion bermuatan positif sehingga dapat terjadi ikatan antara permukaan sel bakteri dan ion logam berat (Awalina Satya *et al.*, 2012: 571).

Menurut Riesta P., *et al.*, (2004: 19-23) mekanisme akumulasi logam berat oleh mikroba dipengaruhi oleh sifat-sifat mikrobanya sendiri dan juga jenis logam berat yang diakumulasi. Proses akumulasi pada umumnya dapat terjadi secara ekstraseluler, pada permukaan sel dengan membentuk ikatan ion logam dengan permukaan sel, maupun *uptake* logam intraseluler dan vaporisasi logam, pengendapan logam melalui pembentukan kompleks dengan ligan yang dibentuk oleh mikroba.

Penelitian ini menggunakan ion logam Cu^{2+} , Cd^{2+} , dan Pb^{2+} (kation) dan dimungkinkan dinding sel bakteri berupa anion maka mampu mengikat secara adesi oleh permukaan sel bakteri termofilik. Toksisitas logam pada mikroba secara umum melibatkan reaktivitas kimiawi spesifik. Logam-logam seperti Cu, Ag, Hg sering kali sangat toksik terutama dalam bentuk ionnya sedangkan logam-logam seperti Pb, Ba, dan Fe lebih dapat diterima pada kadar tertentu oleh mikroba (Riesta P, *et al.*, 2004: 19-23). Cu dalam jumlah yang tepat berperan sebagai mikronutrien atau *trace elements* yang dibutuhkan oleh mikroba. Beberapa fungsi seluler Cu yaitu dalam respirasi, *cytochrome c oxidase*, fotosintesis, plastosianin, dan beberapa *superoxide dismutases* (Madigan, *et al.*, 2009:110). Sedangkan jika dalam jumlah yang berlebih dapat menyebabkan kematian sel atau kerusakan jaringan.

Hasil karakterisasi isolat yang resisten terhadap ketiga jenis logam yaitu *Thermomicrobium* sp D2 merupakan bakteri gram negatif, memiliki lapisan lipopolisakarida yang bersifat anionik sehingga dapat berikatan dengan ion logam Cu^{2+} , Cd^{2+} , dan Pb^{2+} yang bersifat kation. Madigan, *et al.*, (2009: 183) mengungkapkan bahwa bakteri Gram negatif kemampuan mengikat logam diduga karena adanya lapisan lipopolisakarida (LPS) yang bersifat sangat anionik pada membran luar Lipopolisakarida merupakan polisakarida yang terikat membran melalui bagian lipid yang tersisipkan pada lapisan tunggal fosfolipid sedangkan bagian sakarida berada pada bagian luar (Frayssse et al. 2003 *dalam* Ade N.S., *et al.*, 2005: 108-111).

Faktor lain yang mempengaruhi resistensi bakteri berkaitan dengan bentuk sel dan produksi eksopolisakarida. Hasil penelitian Hindersah & Kamaluddin (2013: 151) tentang strain bakteri *Azotobacter* memperlihatkan respons pertumbuhan dan produksi eksopolisakarida (EPS) berbeda terhadap keberadaan logam toksik timbal (Pb) di kultur cair Hasil percobaan menunjukkan bahwa *Azotobacter* sp. LKM6, Gram negatif basil, relatif lebih resisten Pb daripada *A. chroococcum*, Gram negatif kokus. Resistensi *Azotobacter* sp. LKM6 terhadap Pb yang diperlihatkan dengan peningkatan produksi EPS

Perbedaan resistensi *Thermomicrobium* sp D2 berhubungan dengan gen di kromosom, plasmid, atau transposon yang mengatur mekanisme tersebut. Gen tersebut adalah cop-operon untuk Cu, *cadA*-operon untuk Cd, dan transport aktif yang melibatkan ATP untuk Pb (Silver, 1996; Bruins *et al.*, 1999 *dalam* Enny *et al.*, 2012, 5). Tutut *et al.* (2012, 1) meneliti toksisitas logam berat terhadap genus *Bacillus* berturut-turut dari yang paling toksik $\text{Cd} > \text{Pb} = \text{Cu}$. Sedangkan menurut Aminullah (2015: 3) akumulasi logam Pb oleh bakteri berdasarkan posisi logam berat dibagi atas akumulasi ekstraseluler, akumulasi intraseluler, dan penyerapan oleh permukaan sel. Akumulasi ekstraseluler dapat terjadi karena pengikatan ion-ion logam oleh polimer atau polisakarida ekstraseluler yang dihasilkan oleh sel-sel mikroba dan interaksi antara ion-ion logam bermuatan positif dengan sisi reaktif pada permukaan sel yang bermuatan negatif, sedangkan akumulasi intraseluler terjadi karena proses difusi yang tidak membutuhkan aktivitas mikroba secara langsung dimana gen-gen di dalam plasmid yang mengendalikan proses metabolisme tersebut.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Sembilan belas isolat mampu hidup sampai konsentrasi Cu 30 ppm. Isolat bakteri sebanyak 13 dapat tumbuh dengan konsentrasi maksimal 1 ppm Cd. Sembilan belas isolat bakteri mampu bertahan pada logam Pb dengan konsentrasi 300 ppm dengan suhu inkubasi 55 °C selama 24 jam.
2. Isolat *Thermomicrobium* sp D2 mampu tumbuh pada 50 ppm Cu; 1,5 ppm Cd dan 300 ppm Pb.

Saran

1. Dilakukan penelitian lanjutan menggunakan isolat bakteri termofilik lain yang belum dilakukan pengujian sehingga diketahui resistensinya terhadap logam berat.
2. Resistensi terhadap logam berat yang lain selain Cu, Cd, dan Pb perlu diuji.
3. Pengaruh faktor lingkungan misalnya suhu, pH, keberadaan logam lain, yang mempengaruhi resistensi isolat bakteri perlu diteliti.
4. Penelitian ini dapat ditindaklanjuti menggunakan limbah yang tercemar logam berat untuk mengetahui keefektifan dari metode penyerapan dengan menggunakan bakteri termofilik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Noor Syamsudin, Tedja-Imas, dan Suminar Setiati Achmadi. 2005. Bioakumulasi Logam Berat oleh Beberapa Galur *Bradyrhizobium japonicum*. *Hayati*. Vol. 12 (3) hal.108-111
- Agustien N. 2005. Keefektifan *Bacillus cereus* (Frankland and Frankland) ATCC 11778 (Bakteri Gram Positif) dan *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) ATCC 27853 (Bakteri Gram Negatif) Sebagai Bioakumulator Kadmium. *Tesis*. Universitas Diponegoro. Semarang
- Aminullah. 2015. Isolasi dan karakterisasi Rhizobakteri pada akar *Rhizopora mucronata* yang terpapar Logam Berat Timbal (Pb). *Jurnal online Universitas Negeri Surabaya*.
- Anonim. 2016. www.blh.go.id diakses tanggal 1 Maret 2016. Pukul 13.40 WIB
- Anna Rakhmawati dan Evy Yulianti. 2012. Eksplorasi bakteri termofilik pasca erupsi Merapi sebagai penghasil enzim ekstraseluler. *Jurnal Saintek* Vol 17(1)
- Awalina Satya dan Sekar Larashati. 2012. Kemampuan Isolat Bakteri Dari Sedimen Situ Sebagai *Aquatic Bioremoval Agent* Ion Logam Timbal (Pb). *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VI Tahun 2012*
- Dirayah R.H. dan Irna H.M. 2005. Bakteri Pengkompleks Logam Pb dan Cd dari Limbah Cair PT. Kawasan Industri Makassar. *Jurnal Marina Chimica Acta*, April 2005. Universitas Hasanuddin. Vol. 6 (1). Hal. 25-28

- Enny Z, Arif L, Tutut A, dan Umi S. 2012. Bakteri Resisten Logam Berat yang Berpotensi sebagai Biosorben dan Bioakumulator. Prosiding Seminar Nasional Waste for Sustainable for Urban Management. Surabaya. FTSP-ITS.
- Hindersah R & Kamaluddin N.N. 2013. Pengaruh Timbal terhadap Kepadatan Sel dan kadar Eksopolisakarida Kultur Cair Azotobacter. *Jurnal Bionatura*. Vol 13 (3). Hal 151-155.
- Irma Kresnawaty dan Tri Panji. 2007. Biosorpsi logam Zn oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Menara Perkebunan*. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor. Vol. 72(2). Hal 80-92
- Lutfi Febri P. 2012. Isolasi dan Uji Aktivitas Enzim Amilase dari Isolat Bakteri Termofilik Amilolitik Pasca Erupsi Merapi pada Berbagai Variasi Suhu dan pH. *Skripsi*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta
- Madigan M.T., J.M. Martinko, P.V. Dunlap, and D.P. Clark. 2009. *Brock Biology of Microorganisms 12th ed.* USA : Pearson Education Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings
- Mohsenzadeh F & Shahrokhi F. 2014. Biological Removing of Cadmium from Contaminated Media by Fungal Biomass of *Trichoderma* Species. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 12:102 <http://www.ijehse.com/content/12/1/102>
- Riesta Primaharinastiti, A. Toto Poernomo, dan Noor Erma S. 2004. *Bioakumulasi Logam Berat Cu oleh Bacillus spberk. Penel. Hayati*: Fakultas Farmasi Universitas Airlangga 10 (19–23)
- Rudi Nuroho dan Ikbai. 2005. Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil dengan Proses AOPs. *JAI Vol.1, No.2 2005*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan. BPPT
- Soetarto, E.S. et al., 2013. *Limbah Kerajinan Perak Kotagede Yogyakarta Sebagai Sumber Inokulum Bakteri Resisten Logam*. Yogyakarta : Fakultas Biologi UGM
- Suriadikarta, D.A., Abdullah Abbas Id., Sutono, Dedi Erfandi, Edi Santoso, A. Kasno. 2010. Identifikasi Sifat Kimia Abu Vulkan, Tanah Dan Air Di Lokasi Dampak Letusan Gunung Merapi. *Jurnal Penelitian*. Balai Penelitian Tanah : Bogor.
- Susilawati. 2009. Studi Biosorpsi Ion Logam Cd (II) Oleh Biomassa Alga Hijau yang Dimobilisasi Pada Silika Gel. *Skripsi*. Depok : Universitas Indonesia.
- Tutut Arinda, Maya Shovitri, & Enny Zulaika. 2012. Resistensi Bakteri *Bacillus* Terhadap Logam Berat. *Scientific Conference of Environmental Technology IX-2012*. Surabaya : ITS